

AP

Turbine blade material having high resistance to corrosion fatigue, process for producing it and its use

Patent number: DE3207276
Publication date: 1982-10-07
Inventor: ATRENS ANDREJS DR [CH]; GESSINGER GERNOT
DIPL ING DR [CH]
Applicant: BBC BROWN BOVERI & CIE [CH]
Classification:
- international: C22C38/40
- european: C22C32/00C4; C22C33/02K2
Application number: DE19823207276 19820301
Priority number(s): CH19810001767 19810316

Abstract of DE3207276

A turbine blade material having high yield point and notch impact strength accompanied simultaneously by high resistance to corrosion fatigue is composed of a stainless steel which has a mixed ferritic-austenitic structure and which contains, in addition to a relatively high chromium content, molybdenum, nickel and/or manganese, and also other oxidic additives suitable for dispersion hardening. It is produced by powder metallurgy involving compacting the encapsulated powder mixture by forging, extrusion or hot isostatic pressing, further processing it thermomechanically and quenching it in water. It is used in the low-pressure section of steam turbines and in turbocompressors of gas turbine installations.

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑪ **DE 3207276 A1**

⑤ Int. Cl. 3:
C 22 C 38/40

⑳ Aktenzeichen:
㉔ Anmeldetag:
㉕ Offenlegungstag:

P 32 07 276.7
1. 3. 82
7. 10. 82

DE 3207276 A1

㉑ Unionspriorität: ㉓ ㉔ ㉕
16.03.81 CH 1767-81

㉖ Erfinder:

Atrons, Andrejs, Dr.-Phys., 5412 Gebenstorf, CH;
Gossinger, Gernot, Dipl.-Ing. Dr., 5413 Birmenstorf, CH

㉗ Anmelder:
BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie., 5401 Baden,
Aargau, CH

㉘ Vertreter:
Lück, G., Dipl.-Ing. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 7891 Küssaberg

⑤ **Turbinenschaufelwerkstoff hoher Festigkeit gegen Korrosionsermüdung, Verfahren zu dessen Herstellung und seine Verwendung**

Turbinenschaufelwerkstoff hoher Streckgrenze und Kerbzähigkeit bei gleichzeitig hohem Widerstand gegen Korrosionsermüdung, bestehend aus einem rostfreien Stahl mit ferritisch-austenitischem Mischgefüge, welches außer einem verhältnismäßig hohen Chromgehalt noch Molybdän, Nickel und/oder Mangan sowie weitere zur Dispersionshärtung geeignete oxydische Zusätze enthält. Herstellung pulvermetallurgisch, Verdichtung der eingekapselten Pulvermischung durch Schmieden, Strangpressen oder heiß-isostatisches Pressen, Weiterverarbeitung thermomechanisch, Abschrecken in Wasser. Verwendung im Niederdruckteil von Dampfturbinen und bei Turbokompressoren von Gasturbinenanlagen. (32 07 276)

DE 3207276 A1

0 0 3 8 2

24/81

3207276

- 15 -

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Turbinenschaufelwerkstoff hoher Festigkeit gegen Korrosionsermüdung, bestehend aus einem rostfreien Stahl, dadurch gekennzeichnet, dass er ein zweiphasiges Mischgefüge bestehend aus Ferrit oder Martensit oder einem
5 Zwischengefüge einerseits und Austenit andererseits enthält, dass er mindestens ein als Dispersoid vorliegendes Metalloxyd enthält, dass er 0,005 bis 0,6 Gew.-% Kohlenstoff, 18 bis 30 Gew.-% Chrom und 1 bis 6 Gew.-% Molybdän sowie Nickel oder Nickel und Mangan
10 enthält, und sein Gehalt an Nickel plus 1/2 seines Gehaltes an Mangan mindestens 4 Gew.-% beträgt.
2. Turbinenschaufelwerkstoff nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass er als Dispersoid mindestens ein
15 Oxyd mindestens eines der Elemente Titan, Aluminium, Yttrium, Thorium in einem Gehalt von mindestens 0,05 Gew.-% enthält.
3. Turbinenschaufelwerkstoff nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass er 4 bis 11 Gew.-% Nickel und 0,05 bis 3 Gew.-% eines Oxyds mindestens eines der Elemente
20 Titan, Aluminium, Yttrium, Thorium enthält.
4. Turbinenschaufelwerkstoff nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass er 4 bis 11 Gew.-% Nickel, 0 bis 0,6 Gew.-% Stickstoff und 0,2 bis 3 Gew.-% Aluminiumoxyd enthält.
- 25 5. Turbinenschaufelwerkstoff nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass er 22 bis 30 Gew.-% Chrom, 4 bis 11 Gew.-% Nickel, 0,1 bis 1,5 Gew.-% Stickstoff und 0,2 bis 3 Gew.-% Titandioxyd enthält.

6. Turbinenschaufelwerkstoff nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass er 2 bis 6 Gew.-% Nickel, 4 bis 8 Gew.-% Mangan und 0,05 bis 3 Gew.-% eines Oxyds mindestens eines der Elemente Titan, Aluminium, Yttrium, Thorium enthält.
7. Turbinenschaufelwerkstoff nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass er 0,2 bis 1,5 Gew.-% Stickstoff und 0,05 bis 3 Gew.-% eines Oxyds mindestens eines der Elemente Titan, Aluminium, Yttrium, Thorium enthält.
8. Turbinenschaufelwerkstoff nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass er 4 bis 6 Gew.-% Nickel, 0,2 bis 0,8 Gew.-% Stickstoff und 0,2 bis 3 Gew.-% Yttriumoxyd enthält.
9. Turbinenschaufelwerkstoff nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass er 24 bis 28 Gew.-% Chrom, 3 bis 5 Gew.-% Nickel, 4 bis 8 Gew.-% Mangan, 1,5 bis 3 Gew.-% Molybdän, 0,2 bis 0,6 Gew.-% Stickstoff, 0,01 bis 0,06 Gew.-% Kohlenstoff und 0,2 bis 0,8 Gew.-% Yttriumoxyd oder 0,5 bis 1,5 Gew.-% Titandioxyd enthält.
10. Turbinenschaufelwerkstoff nach Anspruch 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass er eine Streckgrenze von mindestens 800 MPa und eine Dauerwechselfestigkeit unter einer belüfteten 4 N NaCl-Lösung mit pH 5 bei 80°C, von mindestens 350 MPa ohne statische Vorlast und von mindestens ± 250 MPa unter einer statischen Vorlast von ± 250 MPa bezogen auf 10^8 Lastwechsel, sowie eine Kerbschlagzähigkeit von mindestens 50 J pro cm² aufweist.

Turbinenschaufelwerkstoff hoher Festigkeit gegen Korrosionsermüdung, Verfahren zu dessen Herstellung und seine Verwendung

Die Erfindung geht aus von einem Turbinenschaufelwerkstoff nach der Gattung des Anspruchs 1, von einem Verfahren zu dessen Herstellung nach der Gattung des Anspruchs 11 und von seiner Verwendung nach der Gattung des Anspruchs 12.

- 5 An Schaufelwerkstoffe für Dampfturbinen werden insbesondere im Bereich mittlerer und tieferer Temperaturen im Zuge langjähriger Betriebserfahrungen erhöhte Anforderungen gestellt. Sie sollen gleichzeitig eine hohe statische Festigkeit, d.h. eine hohe Streckgrenze, eine ausreichende Verformungsreserve, d.h. genügend hohe Kerbzähigkeit und eine
- 10 hohe Widerstandsfähigkeit gegen Korrosionsermüdung im betreffenden Temperaturbereich in möglicher aggressiver Atmosphäre aufweisen. Zum Teil werden ähnliche Anforderungen an Schaufelwerkstoffe von Turbokompressoren in Gasturbinen-
- 15 anlagen gestellt.

Es hat sich gezeigt, dass im Niederdruckteil von Dampfturbinen Schaufelschäden aufgetreten sind, welche einer ungenügenden Festigkeit gegen Korrosionsermüdung zugeschrieben

01.03.82
5.
- 2 -

- werden (H.J. Bohnstedt, P.-H. Effertz, P. Forchhammer und L. Hagn, Der Maschinenschaden, 51, 73, 1978; K. Yaeger, EPRI Journal, p. 44, April 1980). Die hier üblicherweise verwendeten ferritischen bzw. martensitischen legierten
- 5 Stähle (13 % Cr oder 12 % Cr / 1 % Mo) weisen wohl hohe statische Festigkeitswerte (Streckgrenze, 0,2 % - Grenze) auf, ihr Verhalten gegenüber dynamischer Beanspruchung bei gleichzeitiger Anwesenheit aggressiver Medien ist offensichtlich ungenügend. In allen Turbomaschinen, wo
- 10 mit Wassertröpfchenbildung zufolge Kondensation und demzufolge mit einer Konzentration der in der Gasphase vorhandenen Verunreinigungen in der flüssigen Phase als Lösung gerechnet werden muss, stellt sich das Problem der Korrosionsermüdung.
- 15 Man hat versucht, die Frage der Korrosionsermüdung auf zwei Wegen zu lösen. Einerseits ist es möglich, die dynamische Beanspruchung (Schwingungen) der Schaufel durch entsprechende konstruktive Gestaltung herabzusetzen. Andererseits müssen an den Reinheitsgrad der gasförmigen
- 20 Medien höhere Anforderungen gestellt werden, um diese von Schadstoffen möglichst frei zu halten. Derartige Massnahmen erwiesen sich indessen als sehr aufwendig und teuer und zeitigten oft nicht den erhofften Erfolg. Insbesondere vermag selbst eine noch so hoch getriebene
- 25 Reinheit des Dampfes oder Gases eine lokale Anreicherung und somit Sättigung einer wässrigen Lösung nicht mit Sicherheit zu unterbinden. Es muss daher praktisch immer mit der Möglichkeit eines korrosiven Angriffs gerechnet werden.
- 30 Ein anderer Weg, die obengenannten Schwierigkeiten zu beseitigen, bietet sich von der materialtechnischen Seite an. Es wurde schon versucht, gute chemische Beständigkeit mit genügend hoher mechanischen Festigkeit zu kombinieren

(K. Detert, W. Bertram und H. Buhl, Werkstoffe und Korrosions, 31, 439, 1980). Das gesteckte Ziel, einen Werkstoff hoher statischer Festigkeit, hoher Zähigkeit und hoher Ermüdungsfestigkeit in korrosiver Umgebung empfehlen zu können, wurde indessen nicht erreicht.

Die korrosionsbeständigen Stähle können grundsätzlich in 3 Gruppen eingeteilt werden: ferritisch, ferritisch-austenitisch und austenitisch. Die ersten beiden erreichen im allgemeinen eine Streckgrenze von höchstens 640 MPa, die letzteren eine solche von nur 400 MPa. Es besteht daher ein Bedürfnis nach Schaufelwerkstoffen, welche alle drei oben angegebenen Bedingungen erfüllen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Turbinenschaufelwerkstoff sowie ein entsprechendes Herstellungsverfahren anzugeben, die im Fertigerzeugnis bei möglicher Einfachheit und unter Vermeidung ausgefallener, teurer Ausgangsmaterialien bei guter Duktilität, hoher Streckgrenze und Kerbzähigkeit eine hohe Festigkeit gegen Korrosionsermüdung gewährleisten.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss durch die Merkmale der Ansprüche 1 und 11 gelöst.

Der Kern der Erfindung besteht darin, dass als Turbinenschaufelwerkstoff ein rostfreier Stahl mit ferritisch-austenitischem Mischgefüge, welches an sich eine gute Festigkeit gegen Korrosionsermüdung aufweist, verwendet wird, wobei die sonst ungenügenden mechanischen Eigenschaften wie Streckgrenze und Kerbzähigkeit durch spezielle Wahl der Legierungszusammensetzung und durch Oxyddispersionshärtung verbessert werden. Dies wird durch pulvermetallurgische Methoden erreicht.

01.03.82

24/81

3207276

4

-4-

Die Erfindung wird anhand der nachfolgenden Ausführungsbeispiele näher erläutert:

Ausführungsbeispiel I:

Es wurde ein rostfreier Stahl (Legierung I) der nachfolgenden Zusammensetzung hergestellt:

| | | | | |
|----|-------------------------------|---|------|--------|
| | C | = | 0,04 | Gew.-% |
| | Cr | = | 26 | Gew.-% |
| | Mn | = | 6 | Gew.-% |
| | Ni | = | 4 | Gew.-% |
| 10 | Mo | = | 2 | Gew.-% |
| | N | = | 0,4 | Gew.-% |
| | Y ₂ O ₃ | = | 0,5 | Gew.-% |
| | Fe | = | Rest | |

Eine dem herzustellenden Werkstück entsprechende Einwaage von geeigneten Pulvern folgender Zusammensetzung und Partikelgrößen wurde unter Berücksichtigung allfällig auftretender Verluste mit einer entsprechenden Menge von Yttriumoxydpulver der Partikelgröße 0,05 bis 5 μ gemischt:

| | | |
|----|----------------------------|-------------|
| 20 | Graphit-Pulver | 0,1-1 μ |
| | Elektrolytisches Cr-Pulver | 20-60 μ |
| | Mn ₄ N-Pulver | 5-20 μ |
| | Carbonylnickel-Pulver | 4-10 μ |
| | Mo-Pulver | 5-15 μ |
| 25 | Fe-Pulver | 30-60 μ |

Die Pulvermischung wurde in eine Mühle hoher Energiedichte (im vorliegenden Fall Attritor) eingebracht und unter Stickstoff während 20 h mechanisch legiert. Daraufhin wurde das Pulver in eine Kapsel aus weichem Stahl abge-

-8-

füllt, diese unter Vakuum gesetzt und verschweisst. Das in der Kapsel eingeschlossene Pulver wurde unter einer Schmiedepresse bei einer Temperatur von 1100 bis 1200°C und einem Druck von 500 MPa zu einem Pressrohling von 5 99,5 % der theoretischen Dichte verdichtet. Der Rohling wurde durch Schmieden im Temperaturbereich von 1050 bis 1150°C bis zur theoretischen Dichte weiter verformt und anschliessend in Wasser abgeschreckt. Die durch die Kapsel gebildete Aussenhaut wurde mechanisch entfernt, worauf aus 10 dem Werkstück Probestäbe für Zug-, Kerbschlag (Charpy)- und Dauerwechselfestigkeits-Versuche herausgearbeitet wurden, deren Längsachsen parallel zur letzten Hauptverformungsrichtung lagen. Die Dauerwechselfestigkeit wurde unter axialer Belastung (Zug/Druck) sowohl in Luft (Er- 15 müdung) wie in einer belüfteten 4 N NaCl-Lösung mit pH = 5 bei 80°C durchgeführt. Alle Dauerwechselfestigkeitsbestimmungen wurden unter Anwendung einer sinusförmigen axialen Belastung vorgenommen. Der für die praktische Bewertung im Betrieb vor allem massgebende Spannungszustand 20 wurde durch zusätzliches Aufbringen einer positiven statischen Vorlast (Zug) verwirklicht, welche einer Spannung (Mittelwert der Beanspruchung) von 250 MPa entsprach.

Ausführungsbeispiel II:

Der untersuchte rostfreie Stahl (Legierung II) hatte die 25 nachfolgende Zusammensetzung:

| | | |
|---------------------|---|-------------|
| C | = | 0,04 Gew.-% |
| Cr | = | 27 Gew.-% |
| Ni | = | 8 Gew.-% |
| Mo | = | 2,5 Gew.-% |
| 30 TiO ₂ | = | 1 Gew.-% |
| Fe | = | Rest |

.9.

-5-

Die folgenden Pulver mit der nachfolgenden Teilchengrößenverteilung wurden gemischt und im Attritor unter Stickstoffatmosphäre während 40 h mechanisch legiert:

| | | |
|---|--------------------------|-------------|
| 5 | Graphit | 0,1-1 μ |
| | Chrompulver | 20-60 μ |
| | Carbonylnickelpulver | 4-10 μ |
| | Mo-Pulver | 5-15 μ |
| | TiO ₂ -Pulver | 0,1-3 μ |
| | Eisenpulver | 30-60 μ |

- 10 Daraufhin wurde das Pulver in den Rezipienten einer Strangpresse gegeben und bei einer Temperatur von 1125 bis 1205°C mit einem Reduktionsverhältnis von 10 : 1 und einer Stempelgeschwindigkeit von 20 mm/sec zu einem runden Stab von 35 mm \emptyset gepresst. Die dabei erreichte Dichte betrug 100 %
- 15 der theoretischen. Von der Stange wurden Abschnitte von 120 mm Länge in mehreren Arbeitsgängen bei einer Temperatur von 1050 bis 1120°C zu Schaufelprofilen von durchschnittlich 75 mm Breite und 13 mm Dicke gepresst. Die Profile wurden von einer Temperatur von 1050°C in Wasser
- 20 abgeschreckt, um die Bildung der spröden σ -Phase zu unterbinden. Die Herausarbeitung und Prüfung der Probe-stäbe erfolgte gemäss Beispiel I.

Ausführungsbeispiel III:

- Es wurde ein Stahl (Legierung III) folgender Zusammensetzung hergestellt und untersucht:
- 25

| | | | | |
|----|----|---|------|--------|
| 30 | C | = | 0,03 | Gew.-% |
| | Cr | = | 26 | Gew.-% |
| | Mn | = | 5 | Gew.-% |
| | Ni | = | 2 | Gew.-% |
| | Mo | = | 2,5 | Gew.-% |

10. 0.03.02
-7-
N = 0,3 Gew.-%
Al₂O₃ = 0,7 Gew.-%
Fe = Rest

Eine dem herzustellenden Werkstück entsprechende Einwaage
5 von geeigneten Pulvern folgender Zusammensetzung und
Partikelgrössen wurde unter Berücksichtigung allfällig
auftretender Verluste mit einer entsprechenden Menge von
Aluminiumoxydpulver der Partikelgrösse 0,05 bis 5 μ ge-
mischt:

10 Graphit-Pulver 0,1-1 μ
Elektrolytisches Cr-Pulver 20-60 μ
Mn₄N-Pulver 5-20 μ
Carbonylnickel-Pulver 4-10 μ
Mo-Pulver 5-15 μ
15 Fe-Pulver 30-60 μ

Die Pulvermischung wurde in eine Mühle hoher Energiedichte
(im vorliegenden Fall Attritor) eingebracht und unter
Stickstoff während 20 h mechanisch legiert. Daraufhin
wurde das Pulver in eine Kapsel aus weichem Stahl abge-
20 füllt, diese unter Vakuum gesetzt und verschweisst. Das
in der Kapsel eingeschlossene Pulver wurde unter Argon-
atmosphäre bei einer Temperatur von 1050°C und einem Druck
von 200 MPa während 60 min heiss-isostatisch gepresst und
zu einem Pressröhling von 99,5 % der theoretischen Dichte
25 verdichtet. Der Rohling wurde durch Schmieden im Tempera-
turbereich von 1050 bis 1150°C bis zur theoretischen Dichte
weiter verformt und anschliessend in Wasser abgeschreckt.
Nach Entfernung der Aussenhaut erfolgte die Herstellung
der Probestäbe sowie die Prüfung gemäss Beispiel I.

Ausführungsbeispiel IV:

Ein rostfreier Stahl (Legierung IV) der nachfolgenden Zusammensetzung wurde pulvermetallurgisch hergestellt:

| | | | | |
|----|------------------|---|------|--------|
| | C | = | 0,03 | Gew.-% |
| 5 | Cr | = | 23 | Gew.-% |
| | Ni | = | 6 | Gew.-% |
| | Mo | = | 2,5 | Gew.-% |
| | N | = | 0,12 | Gew.-% |
| | ThO ₂ | = | 0,8 | Gew.-% |
| 10 | Fe | = | Rest | |

Die folgenden Pulver mit der nachfolgenden Teilchengrößenverteilung wurden gemischt und im Attritor unter Stickstoffatmosphäre während 40 h mechanisch legiert:

| | | |
|----|--------------------------|-------------|
| | Graphit | 0,1-1 μ |
| 15 | Chrompulver | 20-60 μ |
| | Carbonylnickelpulver | 4-10 μ |
| | Mo ₂ N-Pulver | 5-15 μ |
| | ThO ₂ -Pulver | 0,1-3 μ |
| | Eisenpulver | 30-60 μ |

- 20 Daraufhin wurde das Pulver in den Rezipienten einer Strangpresse gegeben und bei einer Temperatur von 1125 bis 1205°C mit einem Reduktionsverhältnis von 10 : 1 und einer Stempelgeschwindigkeit von 20 mm/sec zu einem runden Stab von 35 mm \emptyset gepresst. Die dabei erreichte Dichte betrug 100 %
- 25 der theoretischen. Der Stab wurde daraufhin in 5 Stichen auf ein Schaufelprofil heruntergewalzt. Die Querschnittsabnahme pro Stich betrug durchschnittlich 15 %, die Walztemperatur bewegte sich zwischen 1050 und 1120°C. Das Schaufelprofil wurde von einer Temperatur von 1050°C in
- 30 Wasser abgeschreckt. Die weitere Untersuchung erfolgte gemäss vorangegangenen Beispielen.

Prüfresultate:

- Die Resultate der Prüfungen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt. Dabei entsprechen die Legierungen I bis IV denjenigen in den Ausführungsbeispielen. Vergleichsweise sind die Eigenschaften eines für Turbinenschaufeln häufig verwendeten härtbaren ferritischen Cr-Mo-Stahles der Norm X20 Cr Mo V 12 1 folgender Zusammensetzung dargestellt:

| | | | |
|----|----|---|-------------|
| 10 | C | = | 0,20 Gew.-% |
| | Cr | = | 12 Gew.-% |
| | Mo | = | 1,0 Gew.-% |
| | Ni | = | 0,7 Gew.-% |
| | V | = | 0,3 Gew.-% |
| | Fe | = | Rest |

- 15 Ausserdem ist die bekannte Titanlegierung Ti 6 Al4V der nachfolgenden Zusammensetzung als Vergleich herangezogen:

| | | | |
|--|----|---|----------|
| | Al | = | 6 Gew.-% |
| | V | = | 4 Gew.-% |
| | Ti | = | Rest |

- 20 Aus der Tabelle geht eindeutig hervor, dass die erfindungs-
gemässen Turbinenschaufelwerkstoffe unter korrosivem Medium
den beiden Vergleichsmaterialien deutlich überlegen sind.
Dies gilt vor allem gegenüber dem Cr-Mo-Stahl, der ausser-
dem eine ungenügende Zähigkeit aufweist. Die Titanlegie-
25 rung kann sich lediglich über eine höhere statische Festig-
keit (Streckgrenze) ausweisen, fällt jedoch gegenüber den
vorgeschlagenen Legierungen I bis IV bezüglich dynamischer
Werte beträchtlich ab. In Anbetracht der Kostspieligkeit
und schwierigen Verarbeitbarkeit der Titanlegierung fällt
30 dies umsomehr ins Gewicht.

Es soll noch nachgetragen werden, dass die Bruchdehnung der Legierungen I bis IV bezogen auf einen Probestab mit einem Längen:Durchmesser Verhältnis von 4,4 durchweg über 15 % betrug, was für die hervorragende Duktilität dieses Materials spricht. Die Werte der Dauerfestigkeit unter 4N NaCl-Lösung bei pH = 5 und 80°C ohne statische Vorlast lagen in allen Fällen über 350 MPa.

| Legie- rung | $\sigma_{0,2}$ MPa | Kerbzähig- keit J/cm ² | Dauerwechselfestigkeit (Zug/ Druck), 10 ⁸ Lastwechsel Vorlast \pm Wechsellast MPa | |
|----------------|-----------------------|---|---|------------------------------|
| | | | Luft | Luft/4N NaCl 80°C, pH = 5 |
| I | 800 | 50 | 250 \pm 340 | 250 \pm 270 |
| II | 800 | 55 | 250 \pm 340 | 250 \pm 260 |
| III | 800 | 52 | 250 \pm 340 | 250 \pm 270 |
| IV | 800 | 54 | 250 \pm 350 | 250 \pm 260 |
| Cr-Mo-St | 800 | 20 | 250 \pm 340 | 250 \pm 40 |
| Ti6Al4V | 930 | 30 | 250 \pm 210 | 250 \pm 180 |

Die Erfindung ist nicht auf die in den Ausführungsbeispielen angegebenen Werkstoffzusammensetzungen beschränkt. Insbesondere eignen sich als Turbinenschaufelwerkstoffe Stähle mit zweiphasigem, aus Ferrit oder Martensit einerseits und Austenit andererseits bestehenden Mischgefüge folgender allgemeinen Zusammensetzung:

C = 0,005 bis 0,06 Gew.-%
 Cr = 18 bis 30 Gew.-%
 Mo = 1 bis 6 Gew.-%

-14-

-11-

$$\text{Ni} + \frac{1}{2} \text{Mn} \geq 4 \text{ Gew.-%}$$
 + mindestens ein als Dispersoid vor-
 liegendes Metalloxyd
 Fe = Rest

- 5 Unter den Elementen, deren Oxyde als Dispersoid Verwendung finden, kann vorzugsweise mindestens eines der Elemente

Ti

Al

Y

Th

10

herangezogen werden, wobei der Gehalt des entsprechenden Oxyds mindestens 0,05 Gew.-% betragen soll.

Bevorzugt kommen folgende Mn-freie Legierungen in die engere Wahl:

- 15 1). C = 0,005 bis 0,06 Gew.-%
 Cr = 18 bis 30 Gew.-%
 Mo = 1 bis 6 Gew.-%
 Ni = 4 bis 11 Gew.-%
 $\Sigma (\text{TiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Y}_2\text{O}_3, \text{ThO}_2) = 0,05 \text{ bis } 3 \text{ Gew.-%}$
 20 Fe = Rest

- 25 2). C = 0,005 bis 0,06 Gew.-%
 Cr = 18 bis 30 Gew.-%
 Mo = 1 bis 6 Gew.-%
 Ni = 4 bis 11 Gew.-%
 N = 0 bis 0,6 Gew.-%
 $\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,2 \text{ bis } 3 \text{ Gew.-%}$
 Fe = Rest

01.03.82
15
-12-

5 3). C = 0,005 bis 0,06 Gew.-%
 Cr = 22 bis 30 Gew.-%
 Mo = 1 bis 6 Gew.-%
 Ni = 4 bis 11 Gew.-%
 N = 0,1 bis 1,5 Gew.-%
 TiO₂ = 0,2 bis 3 Gew.-%
 Fe = Rest

10 4). C = 0,005 bis 0,06 Gew.-%
 Cr = 18 bis 30 Gew.-%
 Mo = 1 bis 6 Gew.-%
 Ni = 4 bis 6 Gew.-%
 N = 0,2 bis 0,8 Gew.-%
 Y₂O₃ = 0,2 bis 3 Gew.-%
 Fe = Rest

15 Eine weitere Auswahl bevorzugter Legierungen, welche sowohl Ni wie Mn enthalten, ist nachfolgend aufgeführt:

20 5). C = 0,005 bis 0,06 Gew.-%
 Cr = 18 bis 30 Gew.-%
 Mo = 1 bis 6 Gew.-%
 Ni = 2 bis 6 Gew.-%
 Mn = 4 bis 8 Gew.-%
 Σ (TiO₂, Al₂O₃, Y₂O₃, ThO₂) = 0,05 bis 3 Gew.-%
 Fe = Rest

25 6). C = 0,005 bis 0,06 Gew.-%
 Cr = 18 bis 30 Gew.-%
 Mo = 1 bis 6 Gew.-%
 Ni = 2 bis 6 Gew.-%
 Mn = 4 bis 8 Gew.-%
 N = 0,2 bis 1,5 Gew.-%
 Σ (TiO₂, Al₂O₃, Y₂O₃, ThO₂) = 0,05 bis 3 Gew.-%
 Fe = Rest

30

16
- 17 -

| | | | | | | | |
|----|-----|-------------------------------|---|------|-----|------|--------|
| 5 | 7). | C | = | 0,01 | bis | 0,06 | Gew.-% |
| | | Cr | = | 24 | bis | 28 | Gew.-% |
| | | Mo | = | 1,5 | bis | 3 | Gew.-% |
| | | Ni | = | 3 | bis | 5 | Gew.-% |
| | | Mn | = | 4 | bis | 8 | Gew.-% |
| | | N | = | 0,2 | bis | 0,6 | Gew.-% |
| | | Y ₂ O ₃ | = | 0,2 | bis | 0,8 | Gew.-% |
| | | Fe | = | Rest | | | |
| 10 | 8). | C | = | 0,01 | bis | 0,06 | Gew.-% |
| | | Cr | = | 24 | bis | 28 | Gew.-% |
| | | Mo | = | 1,5 | bis | 3 | Gew.-% |
| | | Ni | = | 3 | bis | 5 | Gew.-% |
| | | Mn | = | 4 | bis | 8 | Gew.-% |
| | | N | = | 0,2 | bis | 0,6 | Gew.-% |
| 15 | | TiO ₂ | = | 0,5 | bis | 1,5 | Gew.-% |

Das erfindungsgemässe Verfahren ist nicht auf die in den Ausführungsbeispielen angegebenen Schritte beschränkt. Die erste Verdichtung der Pulvermischung zum Rohling sowie die Nachverdichtung und Weiterverarbeitung kann durch Pressen, Schmieden, Strangpressen, heiss-isostatisches Pressen in allen Fällen sowohl unter Schutzgasatmosphäre wie auch unter Vakuum erfolgen. Das Halbzeug in Form eines Schmiederohlings, Barrens oder einer Stange wird zweckmässigerweise zur Verbesserung der Gefügeeigenschaften und zur Formgebung einer weiteren thermomechanischen Bearbeitung unterworfen. Dies kann beispielsweise in einem Schmieden, Walzen, Warmziehen, Pressen etc. bestehen. Am Schluss werden die Rückstände der Metallkapsel in der Regel spanabhebend (mechanisch) oder chemisch entfernt und das Werkstück aus einer Temperatur im Bereich von 1000 bis 1050°C in Wasser abgeschreckt.

Der Turbinenschaufelwerkstoff kann vorzugsweise als Dampfturbinenschaufel im Niederdruckteil oder als Turbokompressorschaufel bis zu Temperaturen von 350°C dauernd eingesetzt werden.

- 5 Die erfindungsgemäss hergestellten und vorgeschlagenen Turbinenwerkstoffe verbinden hohe Duktilität und Kerbzähigkeit mit hoher statischer Festigkeit und grossem Widerstand gegen Korrosionsermüdung und gewährleisten somit eine lange Lebensdauer des Bauteils.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)